

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ВЕЩЕСТВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ

Бухаров С. В.¹, к.т.н., доцент; Овсяников Вл. В.², аспирант

¹Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара,
Днепропетровск, Украина

²Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный
университет», Днепропетровск, Украина

В ряде случаев в условиях производства, на шахтах, обогатительных комбинатах, теплоэлектростанциях и других предприятиях необходимо оперативно определять качество жидкого топлива, угля и других веществ. В настоящее время на многих упомянутых предприятиях показатели качества угля, такие как удельная теплота сгорания (УТС), зольность, влажность, наличие серы и т.п. осуществляется обычными традиционными методами, регламентируемыми соответствующими ГОСТами и ДСТУ. Эти методы обеспечивают приемлемую точность результатов, однако их применение требует значительных затрат рабочего времени. Известны и альтернативные решения, которые позволяют определять параметры качества исследуемых веществ с применением электромагнитного (ЭМ) и радиационного облучения. На некоторых предприятиях Украины и России используют аппаратуру радиационного мониторинга зольности углей, которые в режиме реального времени позволяют оценивать показатели качества угля, однако, следует отметить, что применение радиационных источников в производственных условиях создает дополнительную опасность для здоровья персонала.

Также качество топлива можно оценить исходя из его электромагнитных свойств. Значительный вклад в развитие подобных исследований различных веществ внесли ученые А. А. Брандт, В. А. Викторов, Б. В. Лункин, А. С. Совлуков, В. В. Никольский, Ш. Б. Надь (Венгрия), А. Ф. Харвей (США).

В данной работе рассмотрены результаты оценки трех методов оперативного контроля качества угля, которые основаны на измерениях такого ЭМ показателя угля, как комплексная диэлектрическая проницаемость (КДП) в микроволновом диапазоне.

Первый известный одночастотный метод основан на косвенном определении КДП при измерении комплексного входного сопротивления на входе измерительной ячейки (ИЯ) с образцом (рис. 1) [1]. Искомое значение КДП получают решением трансцендентного уравнения, в состав которого входят гиперболические периодические функции, относительно действительной и мнимой частей КДП. Периодичность функций приводит к результату с множеством значений корней трансцендентного уравнения, что делает решение неоднозначным.

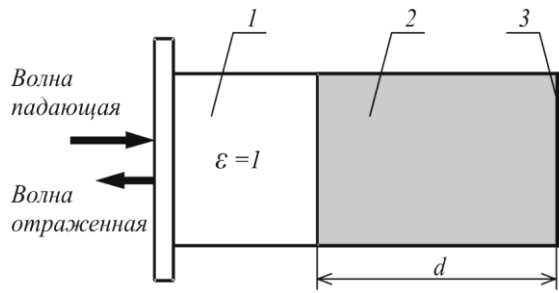


Рисунок 1. Схема металлической волноводной измерительной ячейки: 1 — воздух; 2 — исследуемое вещество (уголь); 3 — короткозамыкатель

Второй метод [2] основан на экспериментальном определении коэффициента стоячей волны (КСВН) в частотном диапазоне с последующим использованием этих данных для определения КДП вещества.

Для ИЯ (рис. 1) в виде прямоугольного волновода с веществом 2, согласно зависимостям, полученным на основе метода многократных отражений [3], получено следующее

выражение частотной зависимости комплексного коэффициента отражения для моды волны H_{10} :

$$R(f, \varepsilon) = \frac{r_{12}(f, \varepsilon) \cdot \exp \left(-i \sqrt{\left(\frac{2\pi \cdot f}{c} \right)^2 \cdot \varepsilon - \left(\frac{\pi}{a} \right)^2} 2d \right)}{1 - r_{12}(f, \varepsilon) \cdot \exp \left(-i \sqrt{\left(\frac{2\pi \cdot f}{c} \right)^2 \cdot \varepsilon - \left(\frac{\pi}{a} \right)^2} 2d \right)}, \quad (1)$$

где:

$$r_{12}(f, \varepsilon) = \left(\sqrt{1 - \left(\frac{c}{2af} \right)^2} - \sqrt{\varepsilon - \left(\frac{c}{2af} \right)^2} \right) / \left(\sqrt{1 - \left(\frac{c}{2af} \right)^2} + \sqrt{\varepsilon - \left(\frac{c}{2af} \right)^2} \right) -$$

коэффициент отражения от первой границы раздела; $\varepsilon = \varepsilon' - i \cdot \varepsilon''$ — комплексная относительная диэлектрическая проницаемость вещества; a — размер широкой стенки волновода; d — глубина заполнения ИЯ исследуемым веществом; c — скорость света, f — частота.

Для вычисления значения КДП вещества предложено использовать метод двух частот. Результаты измерений значений КСВН $K_{c1,изм}$ и $K_{c2,изм}$ на близких частотах f_1 и f_2 подставляем в систему трансцендентных уравнений (2) и решаем их численным методом, относительно ε' и ε'' :

$$\left| R_{1,мод}(\varepsilon', \varepsilon'', f_1, d) \right| = \frac{K_{c1,изм} - 1}{K_{c1,изм} + 1}; \quad \left| R_{2,мод}(\varepsilon', \varepsilon'', f_2, d) \right| = \frac{K_{c2,изм} - 1}{K_{c2,изм} + 1}. \quad (2)$$

Третий метод основан на определении значения КДП методами оптимизации с использованием массивов измеренных значений $K_{ci,изм}(f_i)$ на ряде частот f_i . Предполагается, что на этих частотах значения ε' и ε'' изменяются незначительно. В качестве целевой функции принимаем выражение:

$$F(\varepsilon', \varepsilon'') = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\left[K_{\text{сі,изм}}(f_i) - K_{\text{с,мод}}(\varepsilon', \varepsilon'', f_i, d) \right] / K_{\text{сі,изм}} \right)^2, \quad (3)$$

где N — количество точек отсчета частоты, $K_{\text{с,мод}}(\varepsilon', \varepsilon'', f_i, d)$ — значение КСВН на частоте f_i , рассчитанное при подстановке в выражение (1) значений ε' , ε'' .

Функция (3) имеет минимум при искомым значениях ε' , ε'' . При этом решение в определяемых диапазонах ε' , ε'' единственно. Начальное приближение ε' можно определить по положению экстремумов частотной зависимости КСВН.

Отличие предложенных второго и третьего методов от первого заключается в повышении точности результатов вычислений КДП вещества за счет увеличения количества измерений значений КСВН на множестве заданных частот определенного микроволнового диапазона. Результаты экспериментальных исследований доказывают, что использование предложенных многочастотных методов измерения КДП позволяет автоматизировать процесс оценки качества веществ, что необходимо для систем контроля и управления качеством топлива в режиме реального времени.

Литература

1. Брандт А. А. Исследование диэлектриков на СВЧ / А. А. Брандт — М. : Физматиздат, 1964. — 404 с.
2. Бухаров С. В. Диагностика параметров качества углей и жидких нефтепродуктов электромагнитными методами / С. В. Бухаров, Вл. В. Овсяников // Вісник НУТУ «КПІ». Сер. Радіотехніка. Радіоапаратобудування. — 2011. — №45. — С. 120—129.
3. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах / Л. М. Бреховских — М. : Изд. Наука, 1973. — 343 с.

Анотація

Розглянуто методи оцінювання якості речовин шляхом визначення їх комплексної діелектричної проникності у НВЧ діапазоні. Зроблено висновок про те, що багаточастотні методи забезпечують більш високу достовірність результату.

Ключові слова: частотна залежність КСХН, комплексна діелектрична проникність, якість.

Аннотация

Рассмотрены методы оценки качества веществ путем определения их комплексной диэлектрической проницаемости в СВЧ диапазоне. Сделан вывод о том, что многочастотные методы обеспечивают более высокую достоверность результата.

Ключевые слова: КСВН, комплексная диэлектрическая проницаемость, качество.

Abstract

Methods of the quality estimation of materials, such as coals, by the complex permittivity definition in the microwave range are considered. Concluded that the multi frequency methods provides higher reliability of the obtained results.

Keywords: frequency dependence VSWR, complex dielectric constant, quality.